

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/KR04/003469

International filing date: 27 December 2004 (27.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: KR
Number: 10-2003-0098213
Filing date: 27 December 2003 (27.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 14 February 2005 (14.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

**This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.**

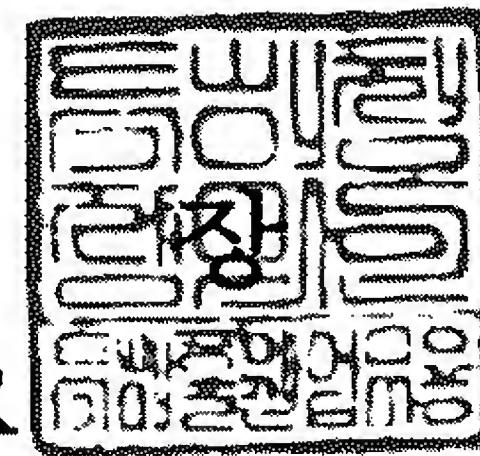
출 원 번 호 : 특허출원 2003년 제 0098213 호
Application Number 10-2003-0098213

출 원 년 월 일 : 2003년 12월 27일
Date of Application DEC 27, 2003

출 원 인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Institute

2005년 1월 10일

특 허 청
COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허 출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0007
【제출일자】	2003.12.27
【발명의 명칭】	다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치 및 그 방법
【발명의 영문명칭】	An apparatus for adaptive resource allocation for multi-channel communication system, and a method thereof
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【명칭】	유미특허법인
【대리인코드】	9-2001-100003-6
【지정된변리사】	이원일
【포괄위임등록번호】	2001-038431-4
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이우용
【성명의 영문표기】	LEE, WOO YONG
【주민등록번호】	660808-1023813
【우편번호】	305-755
【주소】	대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 112동 405호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이석규
【성명의 영문표기】	LEE, SOK KYU
【주민등록번호】	620228-1019314
【우편번호】	305-729
【주소】	대전광역시 유성구 전민동 나래아파트 101동 1102호
【국적】	KR
【심사청구】	청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사 를 청구합니다. 대리인 유미특허법인 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20	면	29,000	원
【가산출원료】	10	면	10,000	원
【우선권주장료】	0	건	0	원
【심사청구료】	23	항	845,000	원
【합계】			884,000	원
【감면사유】			정부출연연구기관	
【감면후 수수료】			442,000	원

【기술이전】

【기술양도】	희망
【실시권 허여】	희망
【기술지도】	희망
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에서는 부채널의 변조 방식을 결정하기 위하여 부채널에 대한 채널 이득을 결정하고, 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정한다. 구체적으로, 부채널의 상태에 따라 전송하고자 하는 비트수를 할당하고, 요구되는 전체 전송률에 대한 최소의 전력을 결정한다. 그리고 상기 할당된 비트수 및 전력에 따라 상기 부채널에 대한 채널 이득을 결정하고, 상기 채널 이득을 토대로 하여 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정한다. 특히, 상기 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정하는 경우 평균적인 전력과 전송률에 따라 반복적으로 적응형 콘벡스 검색 과정을 실시하고, 검색 결과에 따라 하나의 부채널 단위로 최종적인 변조 방식을 결정한다.

이러한 본 발명에 따르면, OFDM 방식으로 동작하는 옥내 데이터 통신 시스템에서 적응형 변조방식을 적용할 경우, 기존의 시스템에 비해 복잡도를 상당히 떨어뜨려서 구현을 용이하게 할 수 있다.

【대표도】

도 5

【색인어】

무선통신 시스템, OFDM, 부채널, 적응형, 자원 할당

【명세서】

【발명의 명칭】

다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치 및 그 방법{An apparatus for adaptive resource allocation for multi-channel communication system, and a method thereof}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치의 구조도이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템에서 128개 부채널에 대한 채널 응답 특성 곡선이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템의 적응형 자원 할당 방법을 설명하기 위하여 도 2의 부채널 응답 곡선에 대하여 본 발명에 따른 방식을 사용할 경우의 비트 할당 결과를 예시하는 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 적응형 자원 할당 알고리즘을 설명하기 위한 라그랑지 승수에 대한 전형적인 전송률 해에 대한 관계를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에서 주어진 목적 전송률 (R_t)에 대한 최적해 (λ^*)를 검색하기 위한 적응 콘벡스(Convex) 검색 알고리즘 절차를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템에서 OFDM 심볼당 평균 채널 용량과 시스템의 효율성을 비교하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 알고리즘과 기존의 알고리즘들에 대한 성능 비교표이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<8> 본 발명은 자원 할당 장치 및 그 방법에 관한 것으로 더욱 상세하게 말하자면, 다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

<9> 한편, 최근 영상 및 데이터 전송에 대한 중요성이 커지면서 고속 데이터 전송에 대한 필요성이 증가하고 있으나, 이를 위한 주파수 자원은 상대적으로 부족하여 효율적인 주파수 사용이 필수적이다.

<10> 그런데 종래의 OFDM 시스템의 경우, 고정된 변조 방식을 사용하거나 또는 사용자별 평균 신호대 잡음비 (signal to noise ratio: SNR)를 고려하여 변조 방식을 결정하였지만, OFDM 시스템의 경우, 부채널별로 다른 SNR 값을 갖기 때문에 이를 이용하여 개별적으로 변조 방식을 결정하는 것이 중요하다.

<11> 종래 기술로서, 미합중국 특허번호 US5,054,034호 (1991. 10. 1)에는 "Ensemble Modem structure for imperfect transmission media"가 개시되어 있는 바, 다중 반송파 시스템에서 각 부채널별 SNR에 기반하여 비트를 각 부채널에 대해 다르게 할당함으로서 최대 데이터 전송 속도 또는 최대 성능 이득을 얻을 수 있도록 한 방법을 개시하고 있다.

<12> 상기 미합중국 특허번호 US5,054,034호에 따르면, 먼저 각 부채널별 SNR과 SNR 캡(gap)과의 비를 계산하는데, 이때, SNR 캡은 부채널별 에러 정정 코드 방식이나 원하는 비트오류 확률에 의해 결정되는 값으로 일정 비트 수를 전송할 때 필요한 이상적인 SNR과 실제 SNR간의 차이를 나타낸다. 다음으로, 사용하고자 하는 부채널의 개수 k 를 1로 하고 전송 가능한 최대 비트 수를 0으로 설정한 뒤 반복 과정을 시작하며, 이후, 현재 k 값에 대해 각 부채널에 보낼 수 있는 비트 수를 계산하고 그 중 가장 큰 k 개의 합을 구하게 된다. 이러한 반복 과정을 k 와 부채널 개수 N 이 같아질 때까지 반복하고 나면 상기 k 개의 합중 최대값이 최대 비트 수가 되며, 그 때의 비트 수가 최종적으로 각 부채널에 보내지는 비트 수가 되고, 최종적인 비트 수로부터 필요한 전력을 계산하고 그 값의 합이 원하는 값이 되도록 각 전력을 정규화하여 최종적으로 각 부채널당 할당 전력을 구하게 된다. 이 특허에서는 OFDM에서 각 부채널별 SNR에 따라 적응적으로 비트를 할당하기 위해, 단계별로 SNR을 참조하여 사용 부채널 수를 증가시키면서 각 부채널에 할당될 비트를 계산함으로써, OFDM에서 SNR을 이용한 최적 비트 할당이 가능하게 된다.

<13> 한편, B. S. Krongold 등이 2000년에 IEEE Trans. Commun.지 제1권 23 내지 27 페이지에는 "Computationally Efficient Optimal Power Allocation Algorithms for Multi-carrier Communication Systems"라는 명칭의 논문이 게재되어 있는데, DMT 시스템에서 SNR을 기반으로 할당하고 부채널별 변조 방식을 결정하여 주기 위해서, 변조 방식 결정 또는 비트 할당 문제를 풀기 위해 변조 양분(bisection) 기법을 적용하였다. 상기 선행 논문에서는 DMT 시스템의 경우 채널 정보를 전송단에서 알고 있다

고 가정할 때, 그 채널 정보를 바탕으로 주파수 대역에서 사용자 구분을 해줌으로써 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 개시하고 있다.

<14> 상기 선행 논문에 따르면, 정수형 변수를 갖는 비선형 최적화 문제의 경우 직접적으로 최적해를 구하는 것이 어렵기 때문에 변수들에 대한 정수 조건을 일단 제거하고 비선형 최적화 문제의 해를 구하고, 얻어진 실수해로부터 양자화를 통하여 최종적인 정수해를 구하게 되는데, 이때 최적화 문제의 해를 구하는 과정이 대단히 복잡하며 구해진 실수해로부터 양자화를 이용해 정수해를 구하였으므로 원래 문제의 최적해 또한 제공해 주지 못한다는 문제점이 있다.

<15> 한편, W. Rhee 및 J. M. Cioffi가 2000년에 Proceeding of IEEE VTC' 2000지 (pp1085~1089)에 "Increase in Capacity of Multiuser OFDM System using Dynamic Subchannel Allocation"라는 명칭의 논문이 게재되었는데, 다중 사용자 OFDM에서 채널 정보를 바탕으로 각 사용자에게 할당될 부채널을 결정하고 그 부채널에서의 할당 전력을 결정함으로써, 전체 용량을 최대화하기 위해서 각 사용자별 부채널별 전력을 변수로 하여 문제를 형성하고, 이를 풀 수 있는 직관적인 방법을 개시하고 있다.

<16> 상기 논문에 의하면, 각 사용자별 부채널별 용량을 계산할 때 전력을 동일하게 나누어준다고 가정하였으므로 성능 저하가 예상되며, 용량을 최대화하였지만, 그 용량은 실수형 값인데 보통 사용되어지는 변조 방식의 경우 정수형 값만을 가질 수 있기 때문에, 이를 실제 전송에 사용하기는 어렵다는 문제점이 있다.

<17> 그런데, OFDM/TDMA를 위한 적응형 자원 할당을 위해서는 각 부채널 및 시간 슬롯에 대한 변조 방식 결정 작업이 이루어져야 하는데, 종래 기술에 따른 방식들은 변

조 방식 결정 작업을 수행하는데 복잡도가 매우 높아서 실제적으로 구현이 어렵다는 문제점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<18> 그러므로, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로, OFDM시스템의 부채널별 변조 방식 결정 작업을 효율적으로 간단하게 구현하는 동시에 시스템의 성능 저하를 줄일 수 있는 다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

<19> 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 방법은, a) 부채널의 상태에 따라 전송하고자 하는 비트수를 할당하는 단계; b) 요구되는 전체 전송률에 대한 최소의 전력을 결정하는 단계; c) 상기 할당된 비트수 및 전력에 따라 상기 부채널에 대한 채널 이득을 결정하는 단계; 및 d) 상기 채널 이득을 토대로 하여 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정하는 단계를 포함한다. 여기서, 상기 비트 할당을 위하여 라그랑지 승수 (λ)를 해석적/경험적 방법으로 추정하는 것을 특징으로 한다.

<20> 여기서, 상기 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정하는 단계는, 평균적인 전력과 전송률에 따라 반복적으로 적응형 콘벡스 검색 과정을 실시하는 단계; 및 상기 콘벡스 검색 결과를 토대로 하나의 부채널 단위로 최종적인 변조 방식을 결정하는 단계를 포함한다.

<21> 여기서, 상기 평균적인 전력과 전송률의 관계는 주어진 채널 응답과 변조기에 대하여, $P(R) = \sigma^2 \alpha^{-R}$, $R > 0$ 로 주어지고, 여기서, $P(R)$ 은 평균전력-전송률 함수, σ^2 는 전파 신호에 대한 분산을 나타내며, 이때 $\alpha > 1$ 인 것을 특징으로 한다.

<22> 한편, 콘벡스 검색 과정을 실시하는 단계 i) 목적 전송률 (R_t)에 대해 상한 (λ_u) 및 하한 (λ_l)을 각각 $\lambda_l = 0$ 과 $\lambda_u = \infty$ 로 선택하여 초기화하는 단계; ii) 경험적 방법으로 상기 목적 전송률 (R_t)에 대한 라그랑지 승수 추정 초기값 (λ)을 선택하는 단계; iii) 목적 전송률 R_t 에 해당하는 라그랑지 승수 λ 를 구할 때까지 전송률 비제한 문제를 푸는 단계; iv) 가장 낮은 전송률 (R_l)과 가장 높은 전송률 (R_u)를 조사하는 단계; 및 v) 상기 전송률 비제한 문제를 푸는 단계로 다시 진행하는 단계를 포함할 수 있다.

<23> 또한, 본 발명의 다른 특징에 따른 다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치는, 채널 상태를 추정하는 채널 추정기; 상기 채널 추정 값을 토대로 부채널에 대한 채널 이득을 결정하고, 상기 채널 이득을 토대로 하여 상기 부채널에 대하여 비트와 전력을 할당하는 적응형 부채널 할당기; 및 상기 할당된 비트와 전력에 따라 비트 테이블 (Bit Table) 및 전력 테이블 (Power Table)을 출력하는 적응형 비트 로더를 포함한다. 이외에도, 상기 비트 테이블 및 상기 전력 테이블에 따라 각각 심볼의 비트 및 전력을 매핑 및 디매핑하는 심볼 매퍼 및 심볼 디매퍼를 더 포함할 수 있다.

<24> 본 발명에 따르면, OFDM에서의 자원 할당을 위한 방법으로 부채널에 대한 채널 응답을 이용하여 사용할 부채널별 변조 방식을 결정하는 고속 검색 알고리즘을 제공함으로써, OFDM 방식으로 동작하는 옥내 데이터 통신 시스템에서 적응형 변조방식을

적용할 경우, 기존의 시스템에 비해 복잡도를 상당히 떨어뜨려서 구현을 용이하게 할 수 있고, 주파수 사용 효율 또한 크게 높일 수 있다.

<25> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 바람직한 실시 예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

<26> 일반적인 OFDM 또는 OFDMA 시스템과 마찬가지로 전송단의 IFFT와 수신단의 FFT로 인해 각 부채널들은 서로 간섭 없이 주파수 비선택적 페이딩을 겪게 된다. 상기 OFDM 시스템은 일반적으로는 부채널의 채널 이득에 관계없이 원하는 데이터 전송 속도에 따라 적당한 변조 방식을 부채널에 할당한다.

<27> 본 발명의 실시 예에서는 IFFT 앞단에 부채널에 대한 변조 방식 결정기를 두어 채널 이득에 따라 각기 다른 변조 방식을 사용하도록 하며, 이렇게 결정된 변조 방식에 대한 정보는 별도의 제어 채널을 이용하여 수신단으로 전송되어야 하며, 상기 수신단에서는 이러한 변조 방식에 대한 정보로부터 부채널별 변조 방식을 알아내어 복조에 사용하게 된다.

<28> 또한, 본 발명의 실시 예에서는 OFDM에서의 자원 할당을 위한 방법으로 부채널에 대한 채널 응답을 이용하여 사용할 부채널별 변조 방식을 결정하는 고속 검색 알고리즘을 제공하게 되며, 이를 위해서는 각 부채널의 채널 응답을 알아야 하는데, 이는 상향/하향 채널 응답이 같다고 가정할 수 있는 시분할 변조 (TDD) 시스템의 경우, 채널 추정만을 이용하여도 가능한다. 주파수 분할 변조 (FDD) 시스템의 경우, 제어 채널을 통해 추정된 채널 응답에 대한 전송을 필요로 하므로, 본 발명의 실시 예에 따

른 방식을 통해 결정된 변복조 방식 정보는 별도의 제어 채널을 통해 수신단에 전송되어져야 한다.

<29> 본 발명의 부채널의 변조 방식 결정을 효율적으로 진행하기 위한 통신 시스템의 적응형 자원 할당 방법은, 부채널에 대한 채널 이득을 결정하는 제1 단계 및 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정하는 제2 단계를 포함하는데, 이하 첨부된 도면을 참조하여 구체적으로 설명하기로 한다.

<30> 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템의 적응형 자원 할당 장치의 구조도이다. 첨부한 도 1에 도시되어 있듯이, 본 발명의 실시 예에 따른 적응형 자원 할당 장치 (110)는 적응형 부채널 할당기 (111), 적응형 비트 로더 (112) 및 이상적인 채널 추정기/잡음 발생기 (113)로 이루어진다.

<31> 상기 채널 추정기/잡음 발생기 (113)로부터 발생된 잡음 변수 (Noise_Var)가 적응형 부채널 할당기 (111), 적응형 비트 로더 (112) 및 무선 채널 (120)로 입력되며, 상기 적응형 비트 로더 (112)로부터 출력되는 비트 테이블 (Bit Table) 및 전력 테이블 (Power Table)에 따라 각각 심볼의 비트 및 전력을 매핑 및 디매핑하는 심볼 매퍼 (130) 및 심볼 디매퍼 (140)로 입력된다.

<32> 다음에는 위에 기술된 바와 같은 구조를 토대로 하여 OFDM 통신 시스템에서의 적응형 자원 할당 방법을 상세히 설명하기로 한다.

<33> 먼저, 부채널 개수를 N 이라고 할 때 각 부채널에 대한 채널 이득의 값은 $|H_n|^2$ ($n=1, \dots, N$)이며, 각 부채널에 할당되는 비트 수와 전력을 각각 c_n , P_n 할 때 다음과 같은 식을 만족한다.

<34>

$$P_n = \frac{f(c_n)}{|H_n|^2}$$

【수학식 1】

<35>

여기서 $f(c_n)$ 는 비트 (c_n)를 수신하는데 필요한 전력을 나타낸다.

<36>

도 2는 본 발명에 따른 OFDM 통신 시스템에서 128개 부채널에 대한 채널 응답 특성 곡선으로서, 임의로 발생시킨 부채널의 응답 형태를 나타낸다. 이러한 채널에 본 발명이 제안한 방식을 사용할 경우의 결과를 보인 것이 도 3이다.

<37>

도 3은 본 발명에 따른 통신 시스템의 적응형 자원 할당 방법을 설명하기 위하여 도 2의 부채널 응답 곡선에 대하여 본 발명에 따른 방식을 사용할 경우의 비트 할당 결과를 예시하는 도면으로서, 각 부채널별 전송 비트 수를 나타낸다. 도 3에 도시된 바와 같이, 채널의 상태가 좋으면 하나의 부채널에 많은 비트를 전송하고, 부채널 이득이 나쁘면 적은 비트를 전송하는 것을 볼 수 있다.

<38>

상기 수학식 1을 사용하여 OFDM에 대한 적응 변조를 위한 전송 비트 수를 할당하는 것은 전체 전력 (P_T)을 최소화하기 위한 다음의 수학식 2 및 3과 같은 최적화 문제를 해결하는 것과 같다.

<39>

$$\min_{c_n} P_T = \min_{c_n} \sum \frac{f(c_n)}{|H_n|^2} \quad \text{for } c_n \in \tilde{C}$$

【수학식 2】

<40>

$$\text{Subject to } R \equiv \sum_{n=1}^N c_n$$

【수학식 3】

<41>

여기서, R 은 목적 데이터량을 말한다. 이 문제에 대한 최적해를 구하기 위하여 신호 (\vec{x})에 대한 변조 형태가 c_n 으로 사상 (mapping) 되기 위하여 요구되는 전송률 함

수와 전력 함수를 각각 $R(c_n)$, $P(c_n)$ 로 정의한다. 이러한 전송률 제한 전력 최적화 적용 변조는 원하는 전체 전송률에 대하여 최소의 전력을 사용하도록 각 부채널의 변조 형태를 할당하는 방법을 말한다. 다시 말해서 입력신호에 대한 변조형태의 벡터를 다음 식과 같다고 하자.

<42> 【수학식 4】 $\vec{C} = (c_1, c_2, \dots, c_N)$

<43> 이 경우, 전체 목적비트 수 R_t 에 대한 전송률 제한은 다음 식과 같다.

<44> 【수학식 5】 $R(\vec{C}) = \sum_{i=1}^N R_i(c_i) \leq R_t$

<45> 전체를 전송하기 위한 전력은 다음과 같다.

<46> 【수학식 6】 $P(\vec{C}) = \sum_{i=1}^N P_i(c_i)$

<47> 위의 수학식을 토대로 하여 전력을 최소화하는 벡터 \vec{C} 를 찾는다.

<48> 이때, 상기 수학식 4 내지 6의 전송률 제한 문제를 라그랑지 승수 (Lagrange Multiplier) λ 를 사용하여 비제한 문제로 단순화시킬 수 있다. 이러한 단순화 절차는 정수 비트 할당 절차에 기원을 두고 있고, 다음과 같은 수학식들로 나타낼 수 있다.

<49> 상기 비트 할당을 위한 실제적인 문제에 적용하기 위하여 라그랑지 승수 λ 를 경험적 방법으로 추정할 수 있다. 그러나 라그랑지 승수 λ 를 찾아내기 위한 보다 체계적인 방안을 개시하기 위하여 비제한 문제를 다음의 수학식 7로 구체화시킬 수 있다.

<50>

$$【수학식 7】 \quad \min_{\{c_n\}} \{P(\vec{c}) - \lambda R(\vec{c})\} = \min_{\{c_n\}} \sum_{n=1}^N \{P_n(c_n) - \lambda R_n(c_n)\}$$

<51>

상기 수학식 7은 각 항목에 대하여 최소화함으로써 전체 합을 최소화하는 최적 해를 구할 수 있고, 또한, 각 항목에 대해 배타적으로 해를 구하는 것을 다음의 수학식 8로 나타낼 수 있다.

<52>

$$【수학식 8】 \quad \min_{c_n} \{P_n(c_n) - \lambda R_n(c_n)\}, \quad \text{for } n=1, \dots, N$$

<53>

한편, 특정 해에 대한 전송률 또는 다수 해에 대한 경우에 가장 높은 전송률이 목적 전송률 R^* 보다 낮은 경우, 다음 단계를 위하여 높은 전송률을 나타내는 해를 위하여 보다 낮은 라그랑지 승수 λ 을 선택한다. 다시 말해서 특정 해가 목적 전송률 R^* 보다 높은 경우, 다음 단계를 위하여 낮은 전송률을 나타내는 해를 위하여 보다 높은 라그랑지 승수 λ 을 선택한다. 이 절차는 목적 전송률 R^* 에 해당하는 라그랑지 승수 λ 를 구할 때까지 계속한다.

<54>

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 적응형 자원 할당 알고리즘을 설명하기 위한 라그랑지 승수에 대한 전형적인 전송률 해에 대한 관계를 나타내는 도면이다.

<55>

주어진 채널 응답과 변조기에 대하여, 평균적인 전력과 전송률의 관계를 다음과 같은 수학식 9로 나타낼 수 있다. 이때, 평균전력-전송률 함수 $P(R)$ 은,

<56>

$$【수학식 9】 \quad P(R) = \sigma^2 \alpha^{-R}, \quad R > 0$$

<57>

이 되며, 여기서 σ^2 는 전파 신호에 대한 분산을 나타내고, 이때 $\alpha > 1$ 이 된다.

<58> 상기 수학식 7의 비제한 문제를 풀기 위하여 반복적 기법을 사용하는데 있어서 가장 큰 관건은 빠른 수렴성과 초기 값 선정에 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 도 5에서 보여주는 것과 같이 $R(\lambda_u) \leq R_t \leq R(\lambda_l)$ 를 만족하는 λ_l, λ_u 를 선택할 수 있다.

<59> 도 5는 본 발명의 실시 예에서 주어진 목적 전송률 (R_t)에 대한 최적해 (λ^*)를 검색하기 위한 적응 콘벡스(Convex) 검색 알고리즘 절차를 나타내는 도면이다.

<60> 도 5에 도시된 바와 같이, 주어진 목적 전송률 R_t 에 대한 최적해 λ^* 를 검색하기 위하여 적응형 콘벡스(convex) 검색 알고리즘을 제공한다. 상기 수학식 7과 9로부터 다음과 같은 수학식 10을 유도할 수 있다.

<61>
$$\lambda = -\frac{\partial P(R)}{\partial R} = \alpha^{-R} \sigma^2 \ln \alpha$$

【수학식 10】

<62> 상기 수학식 10으로부터 λ_l, λ_u 를 추정할 수 있고, 이들 사이의 관계를 유도할 수 있다.

<63>
$$\text{【수학식 11】 } \lambda_u = \alpha^{-R(\lambda_u)} \sigma^2 \ln \alpha$$

<64>
$$\text{【수학식 12】 } \lambda_l = \alpha^{-R(\lambda_l)} \sigma^2 \ln \alpha$$

<65>
$$\frac{\lambda_u}{\lambda_l} = \alpha^{R(\lambda_u) - R(\lambda_l)}$$

【수학식 13】

<66> 따라서 상기 수학식 10, 11, 12, 및 13으로부터 목적 전송률 R_t 에 해당하는 최적의 λ^* 를 유도할 수 있다.

<67>
$$\text{【수학식 14】 } \lambda^*(R_t) = \alpha^{-R_t} \sigma^2 \ln \alpha$$

<68>

$$= \lambda_i \alpha^{R(\lambda_i) - R_t} \sigma^2 \ln \alpha$$

<69>

$$= \lambda_i \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_u} \right)^{\left(\frac{R(\lambda_i) - R_t}{R(\lambda_i) - R(\lambda_u)} \right)}$$

<70>

비슷한 방법으로, 수학식 10, 11, 12, 및 13으로부터 목적 전송률 R_t 에 해당하는 다음과 같은 최적의 λ^* 를 유도할 수 있다.

<71>

$$\lambda^*(R_t) = \lambda_u \left(\frac{\lambda_t}{\lambda_u} \right)^{\left(\frac{R_t - R(\lambda_u)}{R(\lambda_t) - R(\lambda_u)} \right)}$$

【수학식 15】

<72>

한편, 상기 수학식 14와 15를 이용하여, 주어진 목적 전송률 R_t 에 대한 최적해 λ^* 를 검색하기 위한 적응형 콘벡스 검색 알고리즘은 다음과 같은 절차를 거쳐 이루어진다.

<73>

먼저, 목적 전송률 R_t 에 대한 전체 심볼의 전력을 최소화하기 위한 초기화과정으로서 라그랑지 승수 하한 λ_l , 라그랑지 승수 상한 λ_u 를 $\lambda_l = 0$ 과 $\lambda_u = \infty$ 로 선택한다.

<74>

제1 단계로, 경험적 방법으로 목적 전송률 R_t 에 대한 추정 라그랑지 승수 λ 초기값을 선택한다.

<75>

다음으로, 제2 단계로 비제한 문제 수학식 7을 풀게 되는데,

<76>

1) 라그랑지 승수 λ 가 유일해 (Singular value) 이면, 가장 낮은 전송률 (비트수) R_l 과 가장 높은 전송률 R_u 를 찾는다.

<77> 2) 라그랑지 승수 λ 가 유일해가 아니면 (Non singular value), 하나의 전송률

$R_t = R_b = R(\lambda)$ 을 찾는다.

<78> 다음으로, 제3 단계로 R_t 과 R_b 를 조사하게 되는데,

<79> 1) $R_t \leq R_t \leq R_b$ 이면, $\lambda^* \leftarrow \lambda$ 하고, 이때 최적해를 구한 것으로, 진행을 중단 한다.

<80> 2) $R_b < R_t$ 이면 R_t 에서 전송률 증가에 대한 전력 감소 비율이 최대인 전송률 $R_H (> R_b)$ 을 찾는다. 그리고 λ_u 를 R_b 와 R_H 사이의 경사도로 갱신한다. 이때, $R_b \leq R_t \leq R_H$ 이면 $\lambda^* \leftarrow \lambda_u$ 하고, 이때 최적해를 구한 것으로, 진행을 중단한다. 만일, $\lambda_t = 0$ 이면 다음 단계를 위한 라그랑지 승수 λ 를 경험적 방법에 의해서 추정한다. 만일, $\lambda_t = 0$ 이 아니면, 다음 단계를 위한 라그랑지 승수 λ 를 수학식 14 또는 수학식 15를 사용하여 추정한다.

<81> 이후, 다시 제2 단계로 진행하며,

<82> 3) $R_t > R_b$ 이면 R_t 에서 전송률 증가에 대한 전력 감소 비율이 최대인 전송률 $R (< R)$ 을 찾는다. 그리고 λ_l 를 R_t 와 R_b 사이의 경사도로 갱신한다. R_b 는 R_t 보다 작은 전송률을 가지는 모든 가능한 변조 방식을 조사함으로써 얻어진다. 이때, $R_b \leq R_t \leq R_l$ 이면 $\lambda^* \leftarrow \lambda_l$ 하며, 이것은 최적해를 구한 것으로, 진행을 중단한다. 만일, $\lambda_b = \infty$ 이면 다음 단계를 위한 λ 를 경험적 방법에 의해서 추정한다. 만일,

$\lambda_k = \infty$ 이 아니면 다음 단계를 위한 λ 를 수학식 14 또는 수학식 15를 사용하여 추정 한다.

<83> 이후, 다시 제2 단계로 진행하게 된다.

<84> 전술한 본 발명에 따른 적응형 콘벡스 검색 알고리즘은 최적해의 성능을 보이면서 훨씬 간단하게 계산될 수 있다. 위와 같은 과정을 통해 OFDM 시스템에서 사용되는 변조 방식 결정을 하나의 부채널 단위로 적용함으로써 최종적인 변조 방식을 결정할 수 있다. 이러한 OFDM 기반의 무선 LAN 시스템에 본 발명에 따른 알고리즘을 사용했을 때 성능은 도 6과 같다.

<85> 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 OFDM 통신 시스템에서 OFDM 심볼당 평균 채널 용량과 시스템의 효율성을 비교하기 위한 도면으로서, 128개의 부채널에 대하여 3가지 변조 방식 (QPSK, 16QAM, 64QAM)을 적용하고, 데이터 전송률은 258.3 Msps이고 요구하는 BER이 10^{-5} 가 된다. 채널은 레일라이 페이딩 (Rayleigh fading)이고, 지수 함수적인 전력 감소를 가정하였으며, 최대 지연 스프레드를 70ns로 가정하였다. 이때, 모의실험 결과는 100번을 반복한 결과에 대한 평균값이다.

<86> 도 7은 본 발명에 따른 알고리즘과 기존의 알고리즘들에 대한 성능 비교표로서, 기존의 방식들과 본 발명에 따른 방식과 최적 비트 할당에 대한 평균 반복 횟수를 비교하고 있는 바, 본 발명에 따라 복잡도 구현이 간편함을 알 수 있다.

<87> 위에서 발명을 설명하였지만, 이러한 실시 예는 이 발명을 제한하려는 것이 아니라 예시하려는 것이다. 이 발명이 속하는 분야의 숙련자에게는 이 발명의 기술 사항을 벗어남이 없어 위 실시 예에 대한 다양한 변화나 변경 또는 조절이 가능함이 자

명할 것이다. 그러므로 본 발명의 보호 범위는 첨부된 청구 범위에 의해서만 한정될 것이며, 위와 같은 변화이나 변경에 또는 조절예를 모두 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

【발명의 효과】

<88> 이상에서와 같이 본 발명에 따르면, OFDM 방식으로 동작하는 옥내 데이터 통신 시스템에서 적응형 변조방식을 적용할 경우, 기존의 시스템에 비해 복잡도를 상당히 떨어뜨려서 구현을 용이하게 할 수 있다.

<89> 또한 본 발명에 따르면 기존의 고정형 변조 방식을 사용하는 시스템에 비해 상당한 양의 사용 전력이득을 얻을 수 있고, 주파수 사용 효율 또한 크게 높일 수 있다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

다중 채널 통신 시스템의 적응형 자원 할당 방법에 있어서,

- a) 부채널의 상태에 따라 전송하고자 하는 비트수를 할당하는 단계;
- b) 요구되는 전체 전송률에 대한 최소의 전력을 결정하는 단계;
- c) 상기 할당된 비트수 및 전력에 따라 상기 부채널에 대한 채널 이득을 결정하는 단계; 및
- d) 상기 채널 이득을 토대로 하여 각 부채널에 대하여 변조 방식을 결정하는 단계

를 포함하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 a) 단계는 라그랑지 승수 (λ)를 해석적/경험적 방법으로 추정하여 비트수를 할당하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 d) 단계는

평균적인 전력과 전송률에 따라 반복적으로 적응형 콘벡스 검색 과정을 실시하는 단계; 및

상기 콘벡스 검색 결과를 토대로 하나의 부채널 단위로 최종적인 변조 방식을 결정하는 단계
를 포함하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 4】

제3항에 있어서,

상기 평균적인 전력과 전송률의 관계는 주어진 채널 응답과 변조기에 대하여,
 $P(R) = \sigma^2 \alpha^{-R}$, $R > 0$ 로 주어지고, 여기서, $P(R)$ 은 평균전력-전송률 함수, σ^2 는 전파
신호에 대한 분산을 나타내며, 이때 $\alpha > 1$ 인 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당
방법.

【청구항 5】

제3항에 있어서

상기 콘벡스 검색 과정을 수행하는 단계는 주어진 목적 전송률 (R_t)에 대한 최
적해 (λ^*)를 검색하며,

- i) 목적 전송률 (R_t)에 대해 상한 (λ_t) 및 하한 (λ_u)을 각각 $\lambda_t = 0$ 과 $\lambda_u = \infty$ 로
선택하여 초기화하는 단계;
- ii) 경험적 방법으로 상기 목적 전송률 (R_t)에 대한 라그랑지 승수 추정 초기값
(λ)을 선택하는 단계;
- iii) 목적 전송률 R_t 에 해당하는 라그랑지 승수 λ 를 구할 때까지 전송률 비제한
문제를 푸는 단계;

iv) 가장 낮은 전송률 (R_i)과 가장 높은 전송률 (R_u)를 조사하는 단계; 및

v) 상기 전송률 비제한 문제를 푸는 단계로 다시 진행하는 단계
를 포함하는 적응형 자원 할당 방법 .

【청구항 6】

제5항에 있어서

상기 라그랑지 승수 초기값 (λ)은 $\lambda = -\frac{\partial P(R)}{\partial R} = \alpha^{-R} \sigma^2 \ln \alpha$ 를 만족하는 적응형 자원 할당 방법 .

【청구항 7】

제6항에 있어서

상기 목적 전송률 (R_i)에 대해 상한 (λ_i)은 $\lambda_i = \alpha^{-R(\lambda_i)} \sigma^2 \ln \alpha$ 를 만족하고, 상기 하한 (λ_u)은 $\lambda_u = \alpha^{-R(\lambda_u)} \sigma^2 \ln \alpha$ 를 만족하며, 상기 상한 (λ_i)과 하한 (λ_u)은 $\frac{\lambda_u}{\lambda_i} = \alpha^{R(\lambda_u) - R(\lambda_i)}$ 의 관계를 만족하는 적응형 자원 할당 방법 .

【청구항 8】

제7항에 있어서

상기 목적 전송률 R_i 에 해당하는 최적의 λ 는 $\lambda^*(R_i) = \alpha^{-R_i} \sigma^2 \ln \alpha$
 $= \lambda_i \alpha^{R(\lambda_i) - R_i} \sigma^2 \ln \alpha = \lambda_i \left(\frac{\lambda_u}{\lambda_i} \right)^{\frac{R(\lambda_i) - R_i}{R(\lambda_i) - R(\lambda_u)}}$ 를 만족하는 적응형 자원 할당 방법 .

【청구항 9】

제7항에 있어서

상기 목적 전송률 R_t 에 해당하는 최적의 λ^* 는

$$\lambda^*(R_t) = \lambda_u \left(\frac{\lambda_l}{\lambda_u} \right)^{\frac{R_t - R(\lambda_u)}{R(\lambda_l) - R(\lambda_u)}}$$

하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 10】

제5항에 있어서, 상기 비제한 문제를 푸는 iii) 단계는,

특정 해에 대한 전송률 또는 다수 해에 대한 경우에 가장 높은 전송률이 목적 전송률 R_t 보다 낮은 경우, 다음 단계를 위하여 높은 전송률을 나타내는 해를 위하여 보다 낮은 라그랑지 승수 λ 을 선택하고, 상기 목적 전송률 R_t 에 해당하는 라그랑지 승수 λ 를 구할 때까지 계속하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 11】

제10항에 있어서,

상기 전송률 비제한 문제를 푸는 iii) 단계에서 추정 초기값 (λ)이 유일해 (Singular value) 이면, 가장 낮은 전송률 (R_l)과 가장 높은 전송률 (R_h)를 찾는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 12】

제10항에 있어서,

상기 전송률 비제한 문제를 푸는 iii) 단계에서 추정 초기값 (λ)이 유일해가 아
니면 (Non singular value), $R_t = R_h = R(\lambda)$ 인 하나의 전송률을 찾는 것을 특징으로 하는
적응형 자원 할당 방법.

【청구항 13】

제10항에 있어서,

상기 가장 낮은 전송률 (R_l)과 가장 높은 전송률 (R_h)를 조사하는 iv) 단계에서,
가장 낮은 전송률 \leq 목적 전송률 \leq 가장 높은 전송률 ($R_l \leq R_t \leq R_h$) 이면, 추정
초기값 (λ)이 최적해가 되는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 14】

제10항에 있어서,

상기 가장 낮은 전송률 (R_l)과 가장 높은 전송률 (R_h)를 조사하는 iv) 단계에서,
가장 높은 전송률 $<$ 목적 전송률 ($R_h < R_t$) 이면, 상기 가장 높은 전송률 (R_h)에서 전송
률 증가에 대한 전력 감소 비율이 최대인 전송률 $R_H (> R_h)$ 를 찾고, 상기 상한 (λ_u)을
 R_h 와 R_H 사이의 경사도로 갱신하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 15】

제14항에 있어서,

상기 전력 감소 비율이 최대인 전송률 (R_H)은 상기 가장 높은 전송률 (R_h) 보다
큰 전송률을 가지는 모든 가능한 변조 방식을 조사함으로써 구해지는 것을 특징으로
하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 16】

제15항에 있어서,

상기 가장 높은 전송률 (R_i) \leq 목적 전송률 \leq 전력 감소 비율이 최대인 전송률 ($R_h \leq R_f \leq R_u$) 이면, 라그랑지 승수 추정 초기값 (λ)이 최적해가 되는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 17】

제16항에 있어서,

상기 하한이 0 ($\lambda_i = 0$) 이면, 다음 단계를 위한 라그랑지 승수 추정 초기값 (λ)을 경험적 방법에 의해서 추정하고, 상기 하한이 0이 아니면, 다음 단계를 위한 추정 초기값 (λ)을 추정식을 사용하여 추정하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 18】

제10항에 있어서,

상기 가장 낮은 전송률 (R_i)과 가장 높은 전송률 (R_u)를 조사하는 iv) 단계에서, 가장 낮은 전송률 $>$ 목적 전송률 ($R > R_f$) 이면, 상기 가장 낮은 전송률 (R_i)에서 전송률 증가에 대한 전력 감소 비율이 최대인 전송률 $R_f < R$ 를 찾고, 상기 상한 (λ_u)을 R_f 와 R_i 사이의 경사도로 간선하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 19】

제18항에 있어서,

상기 전력 감소 비율이 최대인 전송률 (R_L)은 상기 가장 낮은 전송률 (R_i)보다 작은 전송률을 가지는 모든 가능한 변조 방식을 조사함으로써 구해지는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 20】

제19항에 있어서,

상기 가장 낮은 전송률 (R_i) \geq 목적 전송률 \geq 전력 감소 비율이 최대인 전송률 ($R_L \leq R_i \leq R_i$)이면, 라그랑지 승수 추정 초기값 (λ)이 최적해가 되는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 21】

제20항에 있어서,

상기 하한이 ∞ ($\lambda_h = \infty$)이면, 다음 단계를 위한 라그랑지 승수 추정 초기값 (λ)을 경험적 방법에 의해서 추정하고, 상기 하한이 ∞ 이 아니면, 다음 단계를 위한 추정 초기값 (λ)을 추정식을 사용하여 추정하는 것을 특징으로 하는 적응형 자원 할당 방법.

【청구항 22】

직교주파수 분할 다중화 (OFDM) 시스템의 적응형 자원 할당 장치에 있어서, 채널 상태를 추정하는 채널 추정기;

상기 채널 추정 값을 토대로 부채널에 대한 채널 이득을 결정하고, 상기 채널 이득을 토대로 하여 상기 부채널에 대하여 비트와 전력을 할당하는 적응형 부채널 할당기; 및

상기 할당된 비트와 전력에 따라 비트 테이블 (Bit Table) 및 전력 테이블 (Power Table)을 출력하는 적응형 비트 로더를 포함하는 적응형 자원 할당 장치.

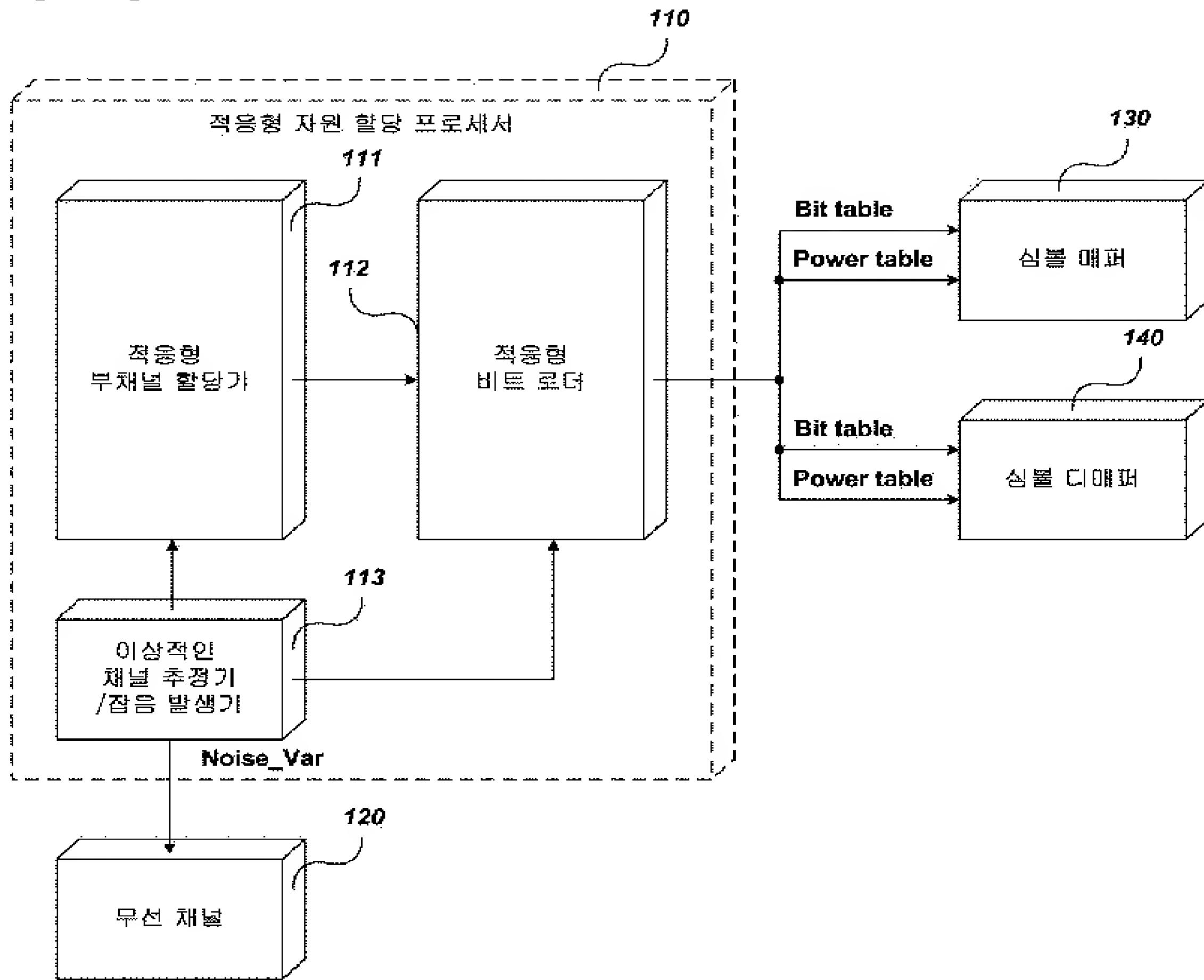
【청구항 23】

제22항에 있어서

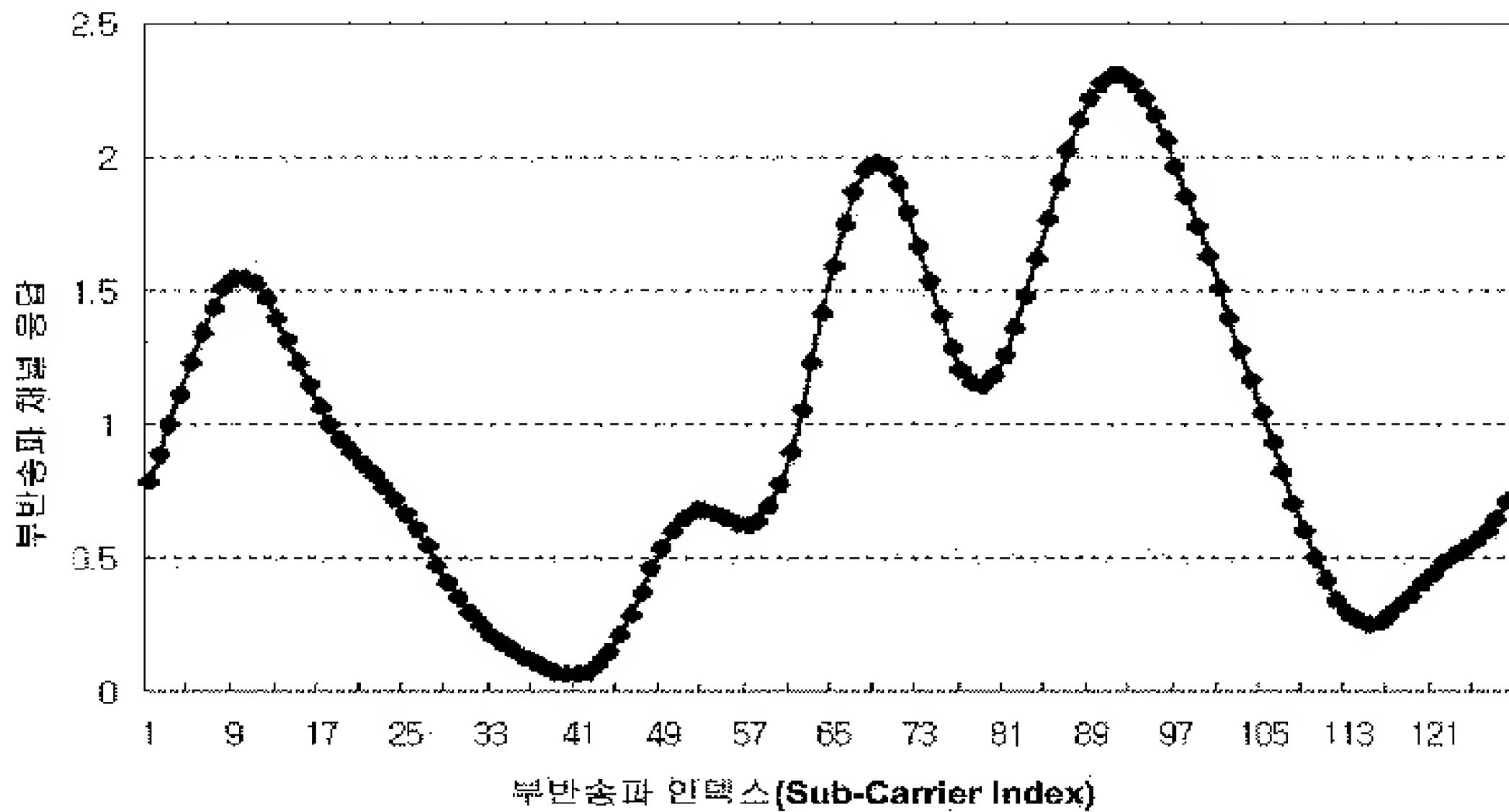
상기 비트 테이블 및 상기 전력 테이블에 따라 각각 심볼의 비트 및 전력을 매핑 및 디매핑하는 심볼 매퍼 및 심볼 디매퍼를 더 포함하는 적응형 자원 할당 장치.

【도면】

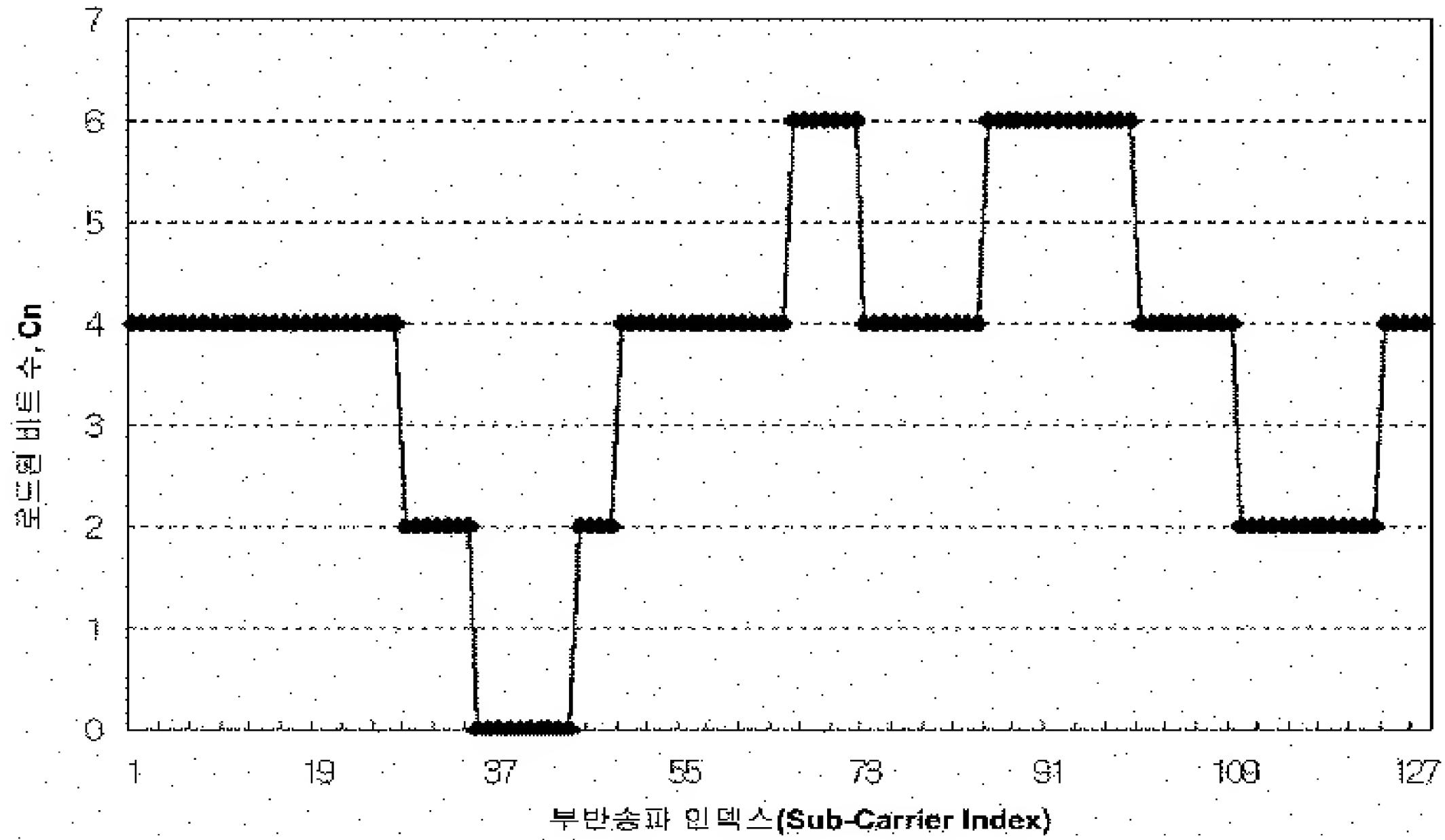
【도 1】



【도 2】



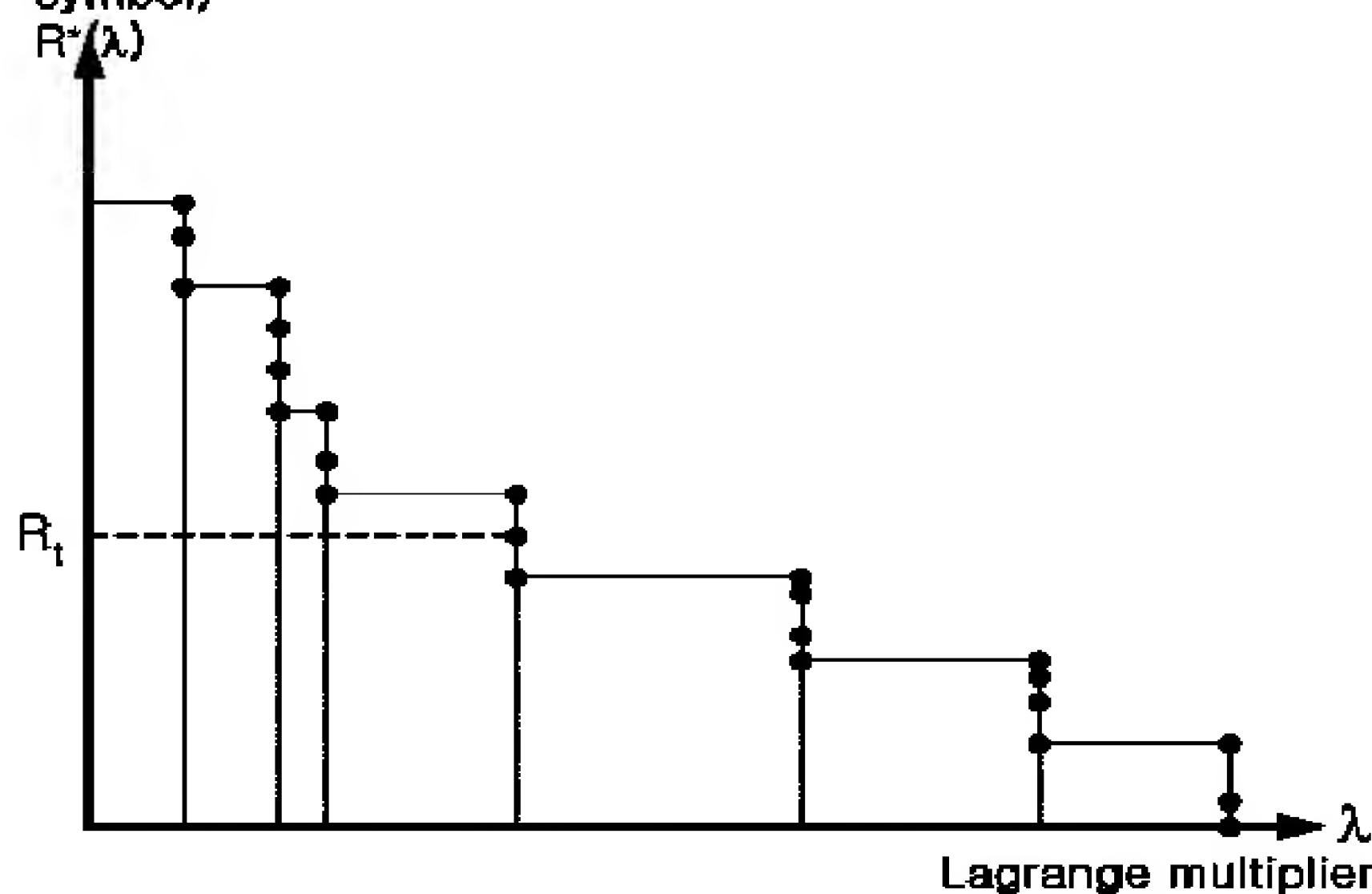
【도 3】



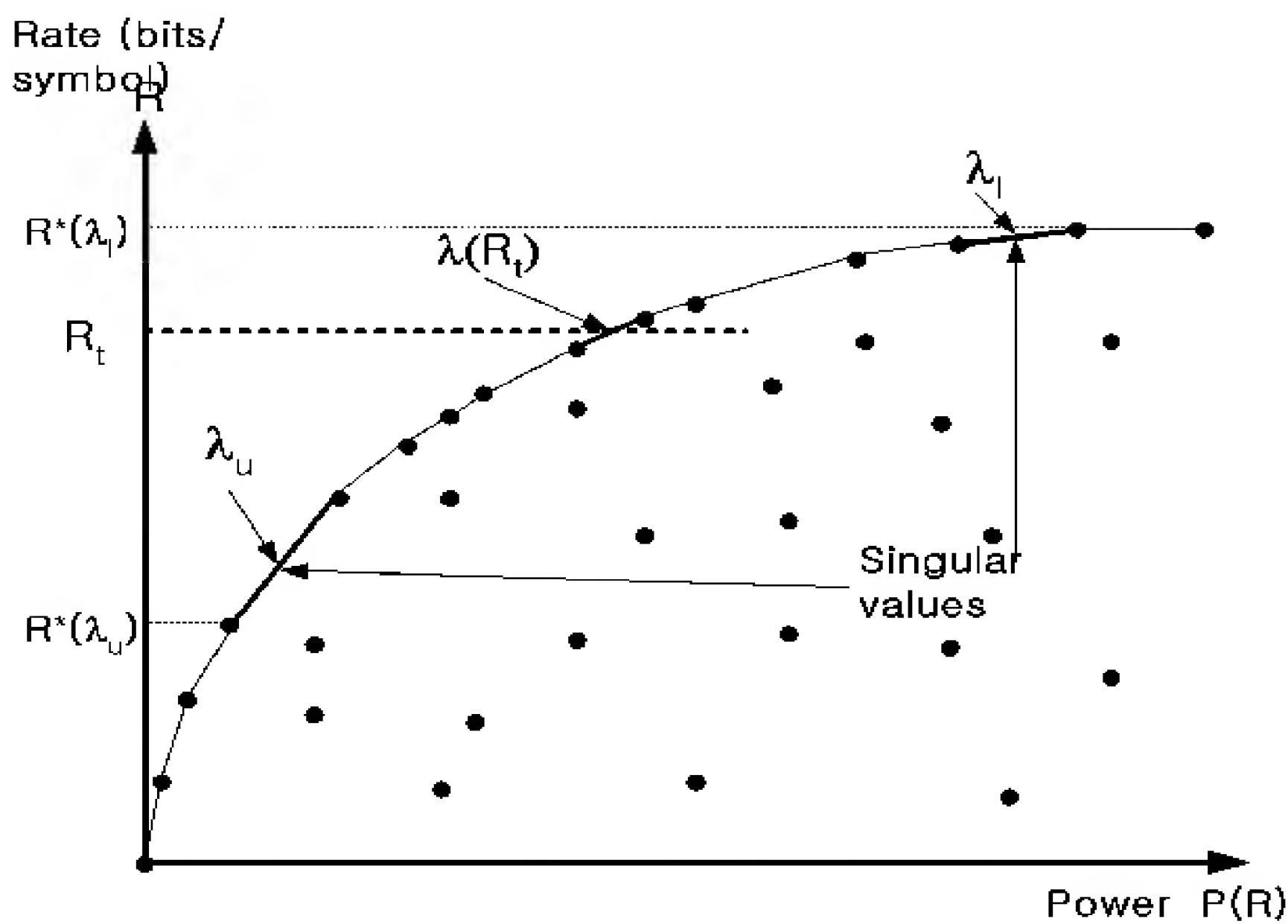
【도 4】

Rate (bits/
symbol)

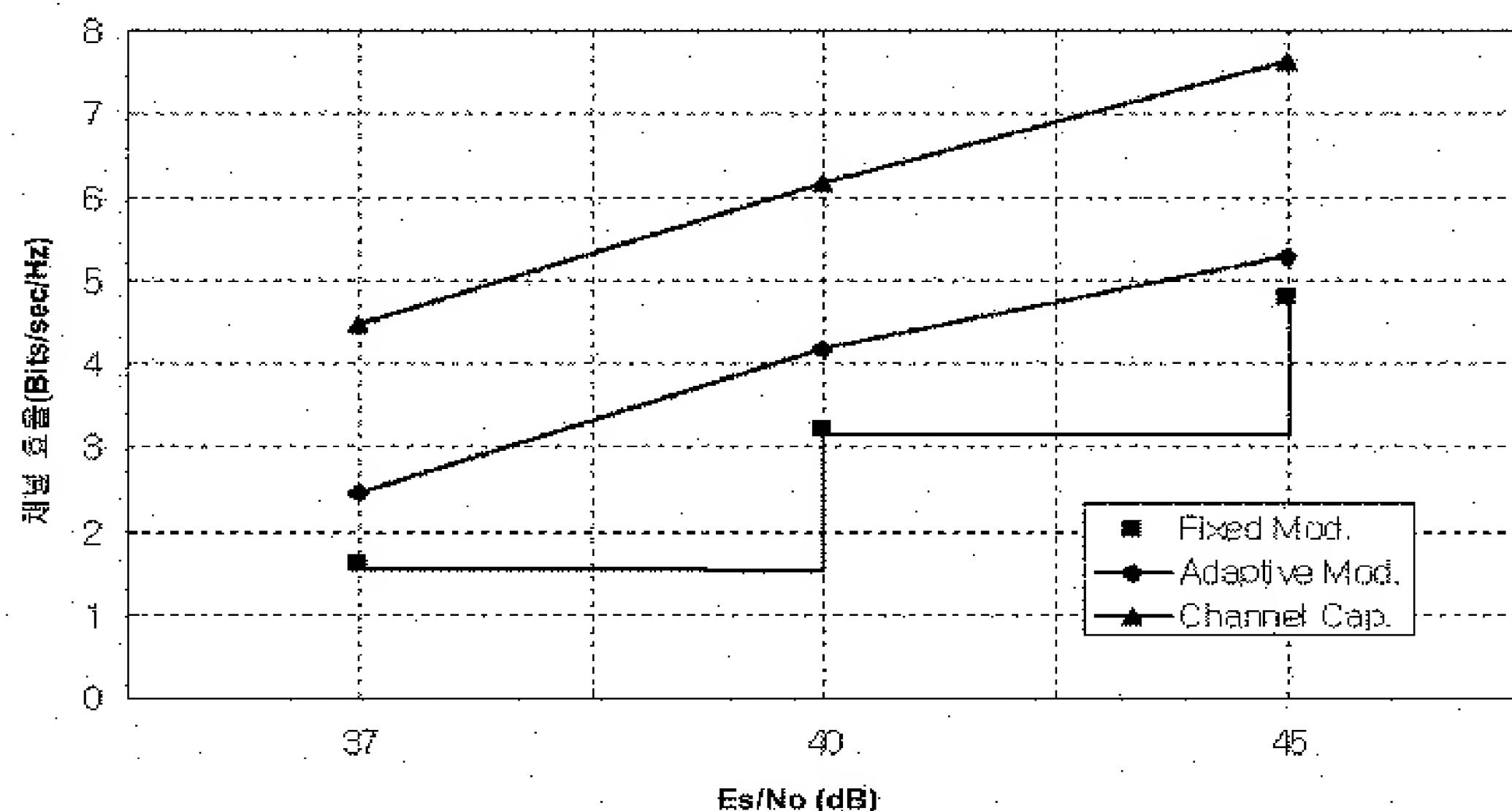
$R^*(\lambda)$



【도 5】



【도 6】



【도 7】

평균 반복횟수	Greedy의 알고리즘	Shoham의 알고리즘	Krongold의 알고리즘	평균
$E_s/N_o = 34$ dB	176.7	59.0	8.18	4.4
$E_s/N_o = 40$ dB	300.0	100.2	32.1	10.1
$E_s/N_o = 45$ dB	381.0	127.0	32.8	10.0